तंत्रिका तंत्र का निर्माण कैसे होता है



सोनिया सेन

जानवर सबसे जरूरी कामों के लिए निरन्तर अपने परिवेश के साथ अन्तर्क्रिया करते रहते हैं, जैसे भोजन की तलाश करना, शिकारी जानवरों से बचना या किसी सम्भावित सहवासी से प्रणय की कोशिश करना। इन अन्तर्क्रियाओं में हमारे तंत्रिका तंत्र की क्या भूमिका होती है? हम शरीर के इस महत्त्वपूर्ण अंग के बारे में क्या जानते हैं और यह कैसे निर्मित होता है?

जानवरों की कुछ सर्वाधिक रोचक बातों में से एक है कौतुहल पैदा करने वाला उनका व्यवहार। चींटियों का एक के पीछे एक कतार में चलते जाना, किंगफिशर पक्षियों का पानी में डुबकी मारकर मछली पकड़ना, छिपकलियों का अपनी पूँछ छोड़ देना, कौओं को भगाती कोयलें, अपना रंग और आकार बदलते ऑक्टोपस, जाले बनाती मकड़ियाँ और यहाँ तक कि किसी चीनी कारखाने के पास से गुजरती ट्रेन में बैठे अपनी नाक बन्द करते लोग। ये सभी उन दिलचस्प चीजों के उदाहरण हैं जो जानवर अपना भोजन तलाशने के लिए, किसी भी नुकसानदायक चीज से बचने के लिए, परभक्षी शिकारियों से बचने के लिए, सहवासी को आकर्षित करने के लिए और अपने बच्चों को बड़ा करने के लिए करते हैं।

अपनी दिखाई देने वाली जटिलता के बावजूद इनमें से प्रत्येक आचरण में तीन चरण होते हैं :

1. परिवेश का बोध : जानवर विभिन्न 'संवेदी उद्दीपकों (sensory stimuli)', जैसे प्रकाश (देखने के द्वारा), ध्वनि (सुनने के द्वारा), उड़नशील और न उड़ने वाले रसायन (सूँघने और चखने के माध्यम से) और दबाव, (छूने के माध्यम से) के माध्यम से अपने परिवेश का निरीक्षण करते हैं।

2. संवेदी जानकारी को संसाधित करते हैं : एक बार जब जानवरों को संवेदी जानकारी प्राप्त हो जाती है, तो उसके बाद, उन्हें उस जानकारी को संसाधित करने की जरूरत होती है ताकि उसके बारे में वे कोई निर्णय कर सकें कि क्या परिवेश में उनके लिए कोई खतरा है, या भोजन पाने का कोई मौका है या क्या कोई सहवासी पाने का अवसर है?

3. प्रतिक्रिया देना : निर्णय हो जाने के बाद जरूरी होता है कि जानवर उद्दीपक के प्रति उपयुक्त व्यवहारगत प्रतिक्रिया दें - उससे बचें, उसे खाएँ या उसके साथ सहवास करें!

जानवरों और उनके परिवेश के बीच होने वाली इन अन्तर्क्रियाओं की मध्यस्थता तंत्रिका तंत्र द्वारा की जाती है।

तंत्रिका तंत्र क्या है?

जैली फिश से लेकर मनुष्यों तक अधिकांश बहुकोशीय जानवरों के पास किसी न किसी किस्म का तंत्रिका तंत्र होता है। इनमें से कुछ के तंत्र अपेक्षाकृत सीधे-सरल होते हैं, वहीं अन्य बहुत हद तक जटिल होते हैं। जटिलता के इन अन्तरों के बावजूद जानवरों के तंत्रिका तंत्र बुनियादी रूप से एक ही तरह के कोशाणुओं (सैल्स) से बनते हैं, और एक से ढंग से काम करते हैं।

तंत्रिका तंत्र जीवों के भीतर संचार संजालों की तरह काम करते हैं। यह 'नेटवर्क', तंत्रिका कोशाणु (न्यूरान) नामक विशेष कोशाणुओं से बने होते हैं जो एक-दूसरे से बहुत पेचीदा ढंग से जुड़े होते हैं। न्यूरानों में यह अनोखी क्षमता होती है कि वे एक छोर से रासायनिक जानकारी हासिल करते हैं, उसे विद्युतीय संकेत में परिवर्तित कर देते हैं ताकि वह जानकारी बहुत जल्दी दूसरे छोर तक पहुँच जाए और फिर वापस इसे एक रासायनिक संकेत में तब्दील कर देते हैं ताकि उसे अगला न्यूरान पकड़ सके। दो न्यूरानों के बीच होने वाला यह रासायनिक संवाद ऐसे संधि-स्थानों पर होता है जिन्हें 'सिनैप्सेस' कहते हैं। बहुत तेजी से जानकारियाँ पहुँचाने की न्यूरानों की इसी क्षमता की बदौलत आप गरम कॉफी के गिलास को छूने पर तेजी से अपनी बाँह खींच लेते हैं। आपके हाथ के संवेदी न्यूरानों को गर्मी का बोध होता है, वे इस सूचना को तुरन्त ही इंटरन्यूरानों को पहुँचा देते हैं, जो आपकी बाँह की मांसपेशियों को सिकुड़ने के लिए कहती हैं (**चित्र 1** में रेखांकित)।

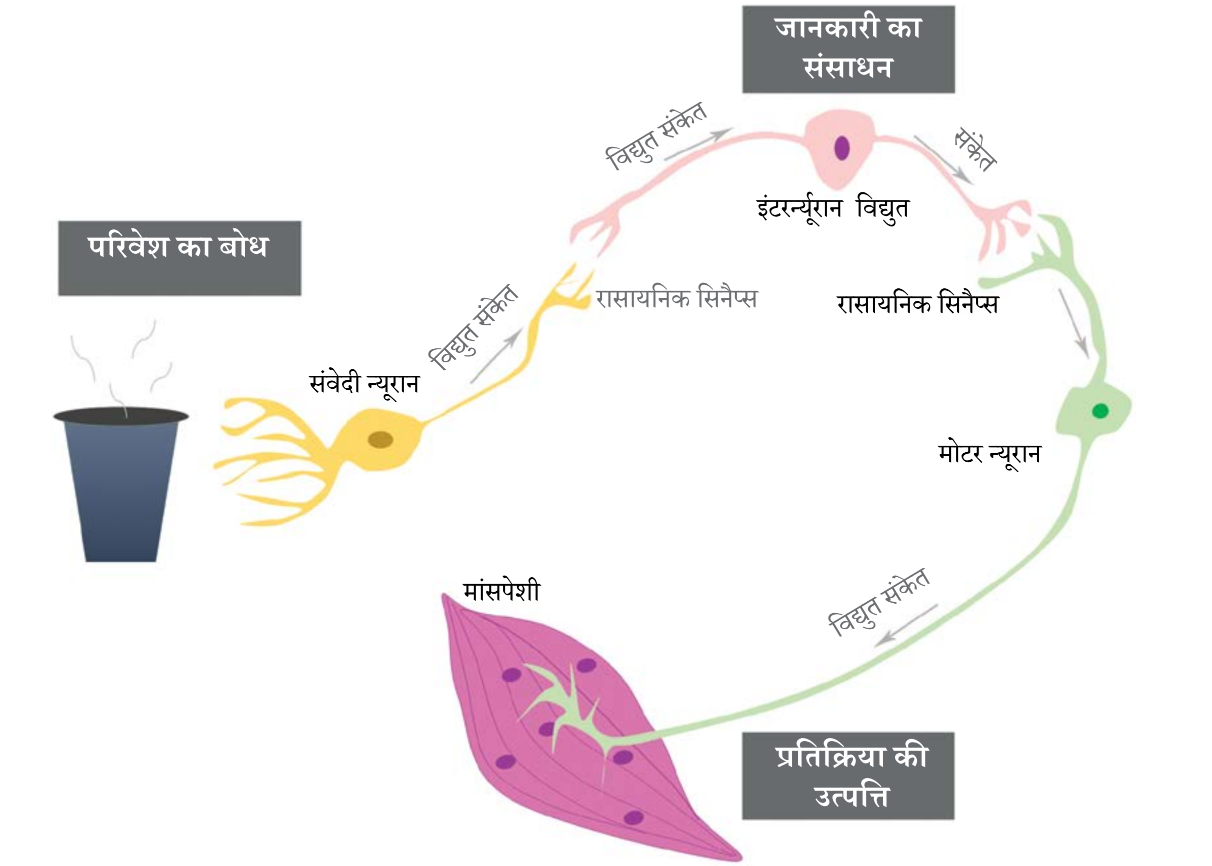
क्या आपने ध्यान दिया कि यह चित्र किसी सामान्य विद्युत परिपथ (सर्किट) के जैसा दिखता है? और जहाँ ये सरल-सा व्यवहार करने वाला एक सरल सर्किट है जिसमें सिर्फ तीन न्यूरान हैं, दूसरे सर्किटों में कई-कई न्यूरान हो सकते हैं। ऐसे सर्किट अक्सर बहुत विस्तृत ढंग से एक-दूसरे से जुड़े होते हैं, जिससे बहुत सरल तंत्रिका तंत्रों के चित्र भी अत्यन्त जटिल हो जाते हैं। इस बहुत सरल-से सर्किट में भी आपने एक चीज देखी होगी कि तीनों न्यूरान एक-दूसरे से बहुत अलग दिखाई देते हैं। यह तंत्रिका तंत्रों की एक और खास विशेषता होती है कि न्यूरान बहुत विविध और सुन्दर आकृतियों और प्रकारों के हो सकते हैं!

यह समझना आसान है कि क्यों बीती सदियों में तंत्रिका तंत्र को जानने के प्रति वैज्ञानिकों में बहुत आकर्षण रहा है। न्यूरान एक-दूसरे से कैसे बात करते हैं? अलग-अलग प्रकार के व्यवहारों के सर्किट कौन से हैं? ये सर्किट किस प्रकार बनते हैं? इनमें स्मृतियों का संग्रह किस प्रकार होता है? प्रश्न असंख्य हैं! अनगिनत लोगों ने इन पर काम किया है और हमें कुछ बेहद रोमांचक बातों का पता चला है।

तंत्रिका तंत्रों का अध्ययन करने के विविध तरीके

वैज्ञानिकों ने तंत्रिका तंत्र का अध्ययन करने के कई तरीके अपनाए हैं। स्क्विड के 'महाकाय' न्यूरान का अध्ययन करते हुए हमें पता चला है कि किस तरह न्यूरानों की कोशाणु झिल्लियों में से आयनों के आदान-प्रदान को प्रोटीन नियंत्रित करते हैं और इससे किस प्रकार न्यूरान ऐसे विद्युतीय कम्पन पैदा कर पाते हैं जिनके माध्यम से वे सूचना को बहुत तेजी से आगे पहुँचा देते हैं।[1] अलग-अलग न्यूरान किस तरह से एक-दूसरे से जुड़े होते हैं वैज्ञानिकों ने इस बात का पता लगाकर पूरे के पूरे तंत्रिका तंत्रों के परिपथ चित्र (सर्किट डायग्राम) बनाने के प्रयास भी किए हैं। इन प्रयासों के परिणामस्वरूप, हम *कैनोहैब्डाइटिस ऐलिगन्स*[2] नामक कीड़े और मैगट[3] (फलों की मक्खी, *ड्रोसोफिला मेलनोगैस्टर*, की प्रारम्भिक लार्वा वाली अवस्था) के सम्पूर्ण तंत्रिका तंत्रों के परिपथ चित्रों को जानते हैं, जिनमें क्रमशः 302 और 10000 न्यूरान होते हैं। अब चूहों और मनुष्यों के मस्तिष्क के हिस्सों के लिए भी ऐसा कर पाने के लिए विस्तृत अध्ययन किए जा रहे हैं[4]। इस बात को ध्यान में रखते हुए कि चूहों में लगभग 7 करोड़, और मनुष्यों में करीब 8 हजार करोड़ न्यूरान होते हैं, इसमें कोई सन्देह नहीं कि इन अध्ययनों के द्वारा ऐसे परिपथों की पुनर्रचना करना कहीं ज्यादा चुनौतीपूर्ण होगा।

ऐसे सम्पूर्ण परिपथ चित्रों के भीतर ही वैज्ञानिकों ने ऐसे 'उप-परिपथों (सब-सर्किटों)' का पता लगाने की कोशिश की जो क्रियात्मक रूप से महत्त्वपूर्ण होते हैं - उदाहरण के लिए, कॉफी के गरम गिलास वाले त्रि-न्यूरान सर्किट, क्रियात्मक सर्किट हैं। ज्यादा जटिल व्यवहारों के लिए ज्यादा जटिल सर्किट होते हैं, और वैज्ञानिक बहुत परिश्रम करते हुए पूरे क्रियात्मक सर्किटों का पता लगाने के लिए विद्युत सलाईयों (electrical probes) का उपयोग करते हैं। ऐसे ही एक शुरुआती अध्ययन से जोंकों के तैरने के व्यवहार को नियंत्रित करने वाले पूरे सर्किट का बहुत सुन्दर चित्र सामने आया।[5] यह साधारण-सी बात लग सकती है लेकिन हकीकत में यह जटिल व्यवहारों के आधार का काम करने वाले न्यूरल वायरिंग सर्किटों को समझने की क्षमता में एक बहुत बड़ी छलाँग को निरूपित करती है। अब नई तकनीकों के



चित्र 1 : जानवर अपने तंत्रिका तंत्र के माध्यम से अपने परिवेश के साथ अन्तर्क्रिया करते हैं। आपकी उँगलियों के संवेदी न्यूरानों को कॉफी के गिलास की गर्मी का बोध हो जाता है। वे इस जानकारी को तुरन्त मेरूदण्ड में भेज देते हैं जहाँ इस जानकारी का संसाधन होता है, और फिर इसे इंटरन्यूरान तक पहुँचा दिया जाता है। फिर वह आपकी बाँहों की मांसपेशियों में मोटर न्यूरान को सक्रिय करता है और बाँहों को सिकुड़ने के लिए कहता है। ध्यान दें कि न्यूरानों के बीच होने वाला सारा संवाद सिनैप्सेस पर ऐसे रसायनों के माध्यम से होता है जिन्हें 'न्यूरोट्रांसमिटरर्स' कहते हैं। ये रसायन अन्य न्यूरानों को सक्रिय भी कर सकते हैं और उन्हें बन्द भी कर सकते हैं। न्यूरान द्वारा प्राप्त की जाने वाली रासायनिक जानकारी को एक विद्युत संकेत में बदल दिया जाता है ताकि न्यूरान के एक छोर से जानकारी तुरन्त ही दूसरे छोर तक पहुँचा दी जाती है। इस तरह से, त्रि-न्यूरान सर्किट के माध्यम से आप गर्म कॉफी के गिलास से बहुत जल्दी अपना हाथ खींच लेते हैं।

सहारे हम न्यूरानों को न सिर्फ उनके सक्रिय होने की स्थिति में देख सकते हैं, बल्कि सिर्फ उन पर प्रकाश डालकर या तापमान में थोड़ा-सा बदलाव करके उन्हें अलग-अलग तौर पर भी बन्द कर सकते हैं या सक्रिय कर सकते हैं।[6,7] इससे हमें जटिल तंत्रिका तंत्रों के और अधिक जटिल क्रियाशील सर्किटों का पता लगाने में, और इस तरह यह समझने और तुलना करने में मदद मिलती है कि जानवर किस प्रकार विभिन्न गन्धों को पहचानते हैं, दृश्यात्मक जानकारी को संसाधित करते हैं, स्वाद लेते हैं, उड़ते हैं, चलते हैं और कैसे इन जटिल व्यवहारों का सामंजस्य करते हैं!

फलों की मक्खियाँ हमें बताती हैं कि मस्तिष्क कैसे निर्मित किया जाता है

अध्ययन की एक अन्य पद्धति इस बात को समझने की रही है कि कैसे ये जटिल सर्किट इस तरह के बनाए जाते हैं कि उनमें वायरिंग की कोई गलतियाँ नहीं होतीं। पहले दिए गए एक उदाहरण में, इस तथ्य का - कि ट्रेन में मौजूद सभी लोगों को वाष्पशील पदार्थों की महक आती है, उसकी बदबू का एहसास होता है, और लगभग एक ही समय पर सब अपनी-अपनी नाक बन्द करने के लिए अपने हाथ आगे बढ़ाते हैं - अर्थ यह हुआ कि उन सभी लोगों के पास इस घटनाक्रम के लिए एक-सा क्रियाशील सर्किट है। यानी किसी एक व्यक्ति के भीतर के

न्यूरान ठीक उसी तरह से जुड़े होते हैं जैसे किसी दूसरे व्यक्ति में, जिसका मतलब यह हुआ कि कोई ऐसे नियम तो होंगे जो इस तरह के जटिल सर्किटों को बार-बार हर व्यक्ति के भीतर बना पाने की सुविधा देते हैं। वे कौन से नियम हैं जो तंत्रिका तंत्र और उसकी जटिल सर्किटरी के निर्माण के निर्देश देते हैं?

पिछले कुछ दशकों में हमने इस प्रक्रिया के बारे में काफी कुछ जानकारी हासिल की है। यह समझ मनुष्यों के अध्ययनों से नहीं बल्कि अन्य जीवों, जैसे कि चूहों, मछलियों, मक्खियों और कीड़ों के अध्ययन से हासिल की गई है। हालाँकि इन जीवों के तंत्रिका तंत्रों और उनके विकसित होने के ढंग में बड़े अन्तर हैं, परन्तु उनमें कई साझा सिद्धान्त भी निकलकर सामने आए हैं। फलों की विनम्र मक्खी के तुच्छ आकार और संसार भर के रसोईघरों में उसके निरादर के बावजूद, तंत्रिका तंत्र की यह समझ निर्मित होने में उसका योगदान असाधारण रहा है।

वयस्क मक्खियों का लगभग 100,000 न्यूरानों वाला तंत्रिका तंत्र काफी जटिल होता है। पहली नजर में, उसकी संरचना और पेचीदा सम्बन्धों के जाल में किन्हीं भी ऐसे नियमों का अभाव दिखाई देता है जो उसके निर्माण को नियंत्रित कर सकते हों। लेकिन शोधकार्य ने दर्शाया है कि ऐसे नियम हैं जरूर और उनमें से कुछ बहुत सरल भी हैं! तो उस मक्खी का अण्डा, जो एक अकेला कोशाणु होता है, कैसे आगे जाकर विभिन्न आकृतियों और प्रकारों वाले 100,000 न्यूरानों को पैदा कर देता है, और वे कैसे आपस में सही ढंग से जुड़े रहते हैं?

मूल तंत्रिका कोशाणु (न्यूरल स्टैम सैल्स) बनाना

इस समस्या को हल करने के लिए, मक्खी का भ्रूण पहले स्टैम कोशाणु निर्मित करता है। स्टैम कोशाणु एक ऐसी बढ़िया तरकीब होते हैं जिसका इस्तेमाल करके लगभग सभी विकसित हो रहे भ्रूणों के तकरीबन सभी ऊतकों में उन कोशाणुओं की संख्या और प्रकारों को बढ़ाया जाता है जिनका कि उत्पादन किया जा सकता है। इसका कारण यह है कि जब एक स्टैम कोशाणु दो में विभाजित होता है, तो उनमें से एक कोशाणु विशेष कार्य करने वाला कोशाणु बन जाता है और दूसरा अपने मूल रूप की प्रतिलिपि बन जाता है। इससे स्टैम कोशाणुओं को अनेक विशेषज्ञ कोशाणुओं को पैदा करने की सुविधा मिल जाती है और साथ ही वे स्वयं अपनी संख्याओं की भी आपूर्ति करते रहते हैं। जो स्टैम कोशाणु मक्खी के भ्रूणों में तंत्रिका तंत्र का निर्माण करते हैं, उन्हें 'न्यूरोब्लास्ट्स' कहा जाता है। विशेष योग्यता वाले कोशाणु (जो 'गैंग्लियन मदर सैल्स' कहलाते हैं) एक बार और विभाजित होकर दो ऐसे न्यूरान पैदा करते हैं जो फिर कभी विभाजित नहीं होते। इसका मतलब है कि प्रत्येक बार जब एक न्यूरोब्लास्ट विभाजित होता है तब वह दो न्यूरान उत्पन्न करता है (जैसा कि **चित्र 2** में देखा जा सकता है)।

न्यूरोब्लास्ट कोशाणु भ्रूण के विकास की बहुत प्रारम्भिक अवस्था में ही निर्मित होते हैं। फलों की मक्खी को अण्डे से लेकर, लार्वा और प्यूपा की अवस्थाओं से होते हुए वयस्क मक्खी में रूपान्तरित होने में लगभग 10 दिन लगते हैं। पहले दिन, अण्डे की आकृति एक खोखली रग्बी की गेंद जैसी होती है जिसे चारों ओर से एक जैसे कोशाणुओं की एक परत घेरे रहती है। पड़ोस के कोशाणुओं से होने वाली अन्तर्क्रियाओं के फलस्वरूप उनमें से कुछ का आकार बड़ा हो जाता है और वे भ्रूण के भीतर ही फूल जाते हैं। ये बड़े आकार के कोशाणु ही न्यूरोब्लास्ट होते हैं। भ्रूण की पूरी लम्बाई में लगभग 500 न्यूरोब्लास्ट निर्मित हो जाते हैं और वे आगे बढ़ते हुए मक्खी के तंत्रिका तंत्र के विविध प्रकार के सभी 100,000 न्यूरानों को पैदा करते हैं।

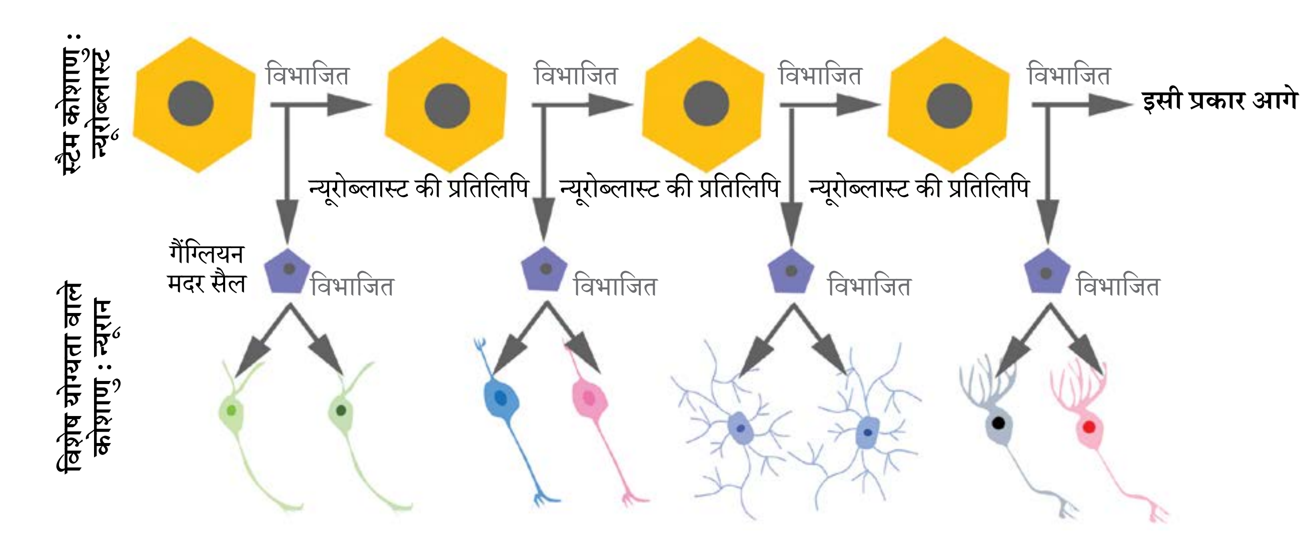
इतने थोड़े से कोशाणु इतने विभिन्न प्रकार के न्यूरान कैसे पैदा करते हैं?

विविध प्रकार के न्यूरानों को निर्मित करना

इस उपलब्धि को हासिल करने के लिए न्यूरोब्लास्ट्स दो काम करते हैं। पहला तो यह कि, प्रत्येक बार जब एक दिया गया न्यूरोब्लास्ट विभाजित होता है तो वह (एक ही तरह के न्यूरान बार-बार पैदा करने के बजाय) हर बार भिन्न-भिन्न प्रकार के न्यूरान उत्पन्न करता है। दूसरी बात यह है कि 500 न्यूरोब्लास्टों में प्रत्येक न्यूरानों के अलग-अलग समूहों को पैदा करता है[8] (जैसा कि **चित्र 3** में देखा जा सकता है)।

लेकिन एक न्यूरोब्लास्ट को क्या चीज दूसरे न्यूरोब्लास्ट से भिन्न बनाती है? और क्या चीज उनमें से प्रत्येक को समय के साथ अलग-अलग प्रकार से काम करने के लिए बाध्य करती है? न्यूरोब्लास्ट एक ऐसी व्यवस्था का इस्तेमाल करते हैं जो फोन नम्बरों के इस्तेमाल करने के जैसी होती है, जिनको डायल करने पर आपका सम्बन्ध केवल उन विशेष व्यक्तियों से ही जुड़ता है जिनके वे नम्बर होते हैं - एक व्यक्ति का फोन नम्बर उसका उसकी अनोखी पहचान का कोड होता है। इसी प्रकार से, प्रत्येक न्यूरोब्लास्ट को वंशाणुओं के एक अनोखे कोड से पहचाना जा सकता है जो उसके भीतर कार्यरत होता है और जो किसी भी दूसरे न्यूरोब्लास्ट में नहीं होता।

समय बीतने के साथ होने वाले परिवर्तनों को एक बहुत ही रोचक रणनीति के द्वारा हासिल किया जाता है। यदि प्रत्येक न्यूरोब्लास्ट उसकी उम्र बढ़ने के साथ ही अलग-अलग न्यूरान



चित्र 2 : विकास की प्रक्रिया में स्टैम कोशाणु - अनेक ऊतकों के विकास में स्टैम कोशाणुओं का उपयोग बड़ी संख्याओं में विविध प्रकार के कोशाणुओं को पैदा करने के लिए किया जाता है। एक स्टैम कोशाणु असमान ढंग से विभाजित होता है, विभाजन से पैदा हुए कोशाणुओं में से एक आम तौर पर विशेष प्रकार का कोशाणु होता है, जबकि दूसरा एक स्टैम कोशाणु होता है। मक्खी के तंत्रिका तंत्र में, स्टैम कोशाणु ही न्यूरोब्लास्ट होता है, और जिस विशेष योग्यता वाले कोशाणु (गैंग्लियन मदर सैल) को वह प्रत्येक विभाजन में पैदा करता है, वह फिर एक बार विभाजित होकर दो न्यूरान उत्पन्न करता है। इस उदाहरण में गौर करें कि एक अकेले न्यूरोब्लास्ट ने केवल चार विभाजनों से आठ न्यूरानों को उत्पन्न किया है।

निर्मित करता है, तो उसके पास निश्चित ही 'समय का हिसाब रखने' का कोई तरीका होगा। और वाकई में, न्यूरोब्लास्ट एक 'आणविक घड़ी' का उपयोग करके ठीक ऐसा ही करते हैं। समय बीतने के साथ कड़ाई से नियमित क्रम में, वंशाणुओं के काम करना चालू करने और बन्द करने की युक्ति के द्वारा एक आणविक घड़ी निर्मित हो जाती है। उदाहरण के लिए, वंशाणु 1 वंशाणु 2 को चालू (स्विच ऑन) करके स्वयं बन्द (स्विच ऑफ) हो जाता है, वंशाणु 2 फिर वंशाणु 3 को चालू करके स्वयं बन्द हो जाता है, और इसी प्रकार क्रम बढ़ता जाता है। इसके परिणामस्वरूप उन वंशाणुओं का क्रम बन जाता है जो चालू होते हैं - पहले वंशाणु 1, फिर वंशाणु 2, फिर वंशाणु 3... और इसी तरह आगे भी। इसलिए यदि कोई न्यूरोब्लास्ट वंशाणु 1 की 'समय की खिड़की (टाइम विंडो)' के भीतर था तो वह एक प्रकार का न्यूरान पैदा करता, और यदि वह वंशाणु 4 की 'समय की खिड़की' में था तो वह दूसरी तरह का न्यूरान पैदा करता और इसी तरह यह सिलसिला चलता जाता।

इस विधि से, प्रारम्भिक रूप से एक जैसे थोड़े से न्यूरोब्लास्ट अनोखे आणविक पहचान के कोड (ऐसे वंशाणुओं का **संयोजन** जो उसके भीतर स्विच ऑन या चालू कर दिए गए होते हैं) हासिल कर लेते हैं जो उन्हें एक-दूसरे से भिन्न बना देते हैं। इसके अलावा, एक आणविक घड़ी (ऐसी वंशाणुओं का **क्रम** जो चालू कर दिए गए होते हैं) उन्हें समय के साथ बदलने के लिए नियमित कर देती है।[8] वंशाणुओं के बीच में स्थान और समय के बदलने के साथ-साथ होने वाली इन अन्तर्क्रियाओं के परिणामस्वरूप, थोड़े से न्यूरोब्लास्ट मस्तिष्क में न्यूरानों की चकित करने वाली विविधता को उत्पन्न कर देते हैं!

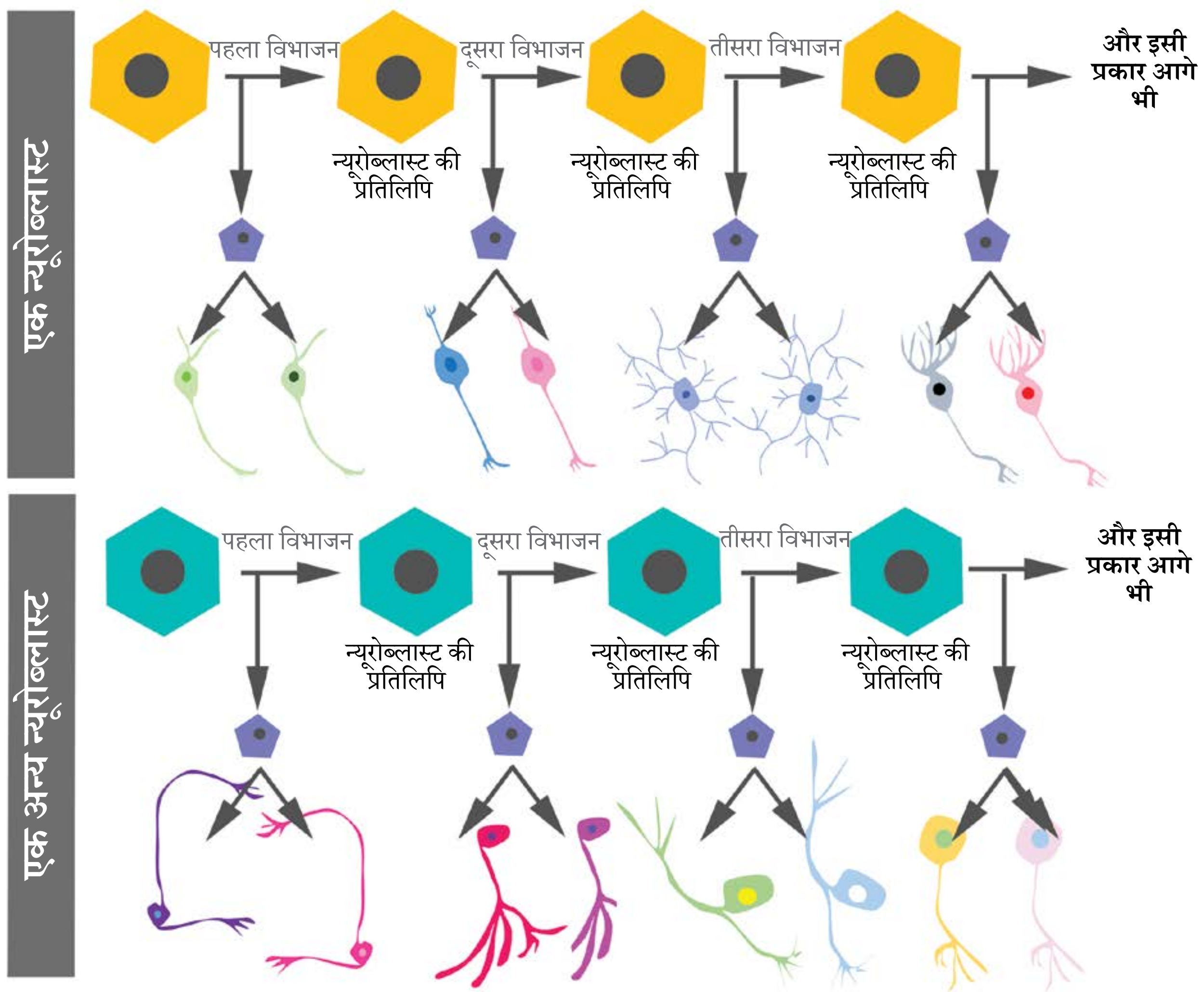
मस्तिष्क के कार्यकारी खण्ड (मॉड्यूल्स)

इसमें कोई सन्देह नहीं कि इन अध्ययनों से जो सबसे सुन्दर सिद्धान्त निकलकर सामने आया, वह यह है कि मस्तिष्क को उसके एक-एक टुकड़े को जोड़कर बनाए जाने की जरूरत नहीं होती, बल्कि वह कार्यकारी खण्डों के संयोजन से बनता है। इसका कारण यह होता है कि किसी विशेष न्यूरोब्लास्ट के द्वारा उत्पादित न्यूरानों की प्रवृत्ति इकट्ठे बने रहने की और मस्तिष्क के एक ही कार्यकारी उप-परिपथ (सब-सर्किट) में जुड़ जाने की होती है। उदाहरण के लिए, मक्खी के मस्तिष्क में, 'एलैड 1' कहलाने वाला एक खास न्यूरोब्लास्ट लगभग 120 न्यूरान बनाता है, जो सभी उस उप-परिपथ में भाग लेते हैं जो मक्खी को सूँघने की सुविधा देता है। इसी प्रकार, एक अन्य न्यूरोब्लास्ट, जिसका नाम 'एलएएलवी 1' है, लगभग 150 न्यूरानों का एक अन्य समूह पैदा करता है जो फिर ऐसे उप-परिपथ में भागीदारी करते हैं जिसके माध्यम से मक्खी उड़ने के

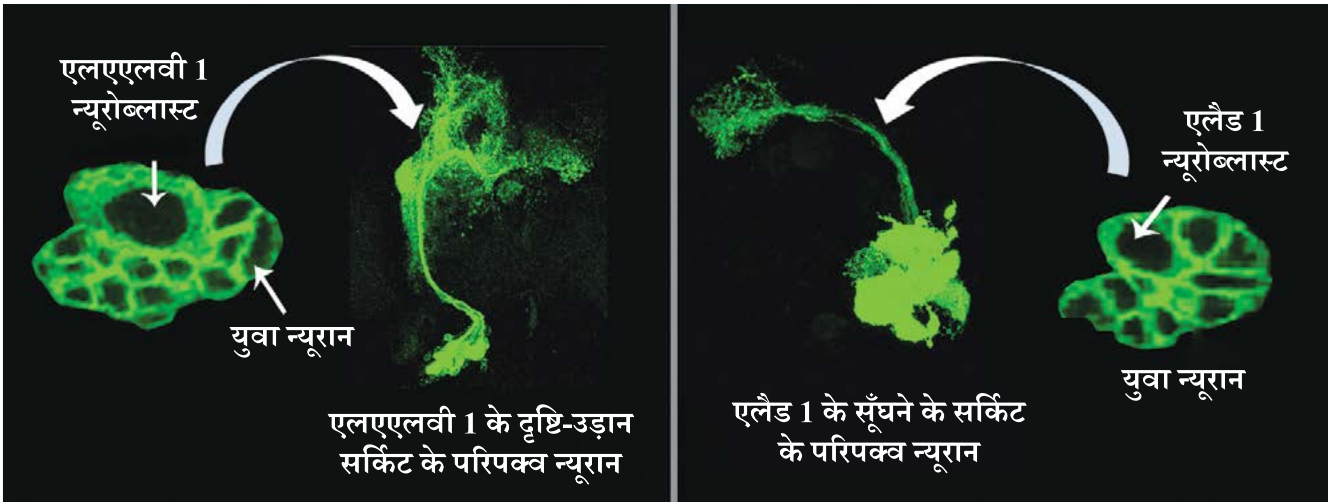
दौरान दृश्यात्मक जानकारी को संसाधित कर पाती है।[9] इसका मतलब है कि मक्खी के पास एक साथ 100,000 न्यूरानों की वायरिंग को नियंत्रित करने की रणनीति नहीं होती, बल्कि उसे न्यूरानों के केवल लगभग 500 कार्यकारी खण्डों को नियंत्रित करना पड़ता है। यह वायरिंग की समस्या की जटिलता को कई गुना कम कर देता है (**चित्र 4** देखें)।

जानवरों के बीच में समानताएँ

क्या ये सभी जानकारियाँ केवल मक्खियों के लिए ही खास तौर पर उपयोगी हैं, या कि इनमें से किसी बात का व्यापक महत्त्व भी है? जिस प्रकार के प्रयोगों ने दुनिया भर में तमाम वैज्ञानिकों को इन सब बातों का पता लगाने की सुविधा दी, उस तरह के प्रयोग मक्खियों के अलावा दूसरे जानवरों के साथ कर पाना काफी

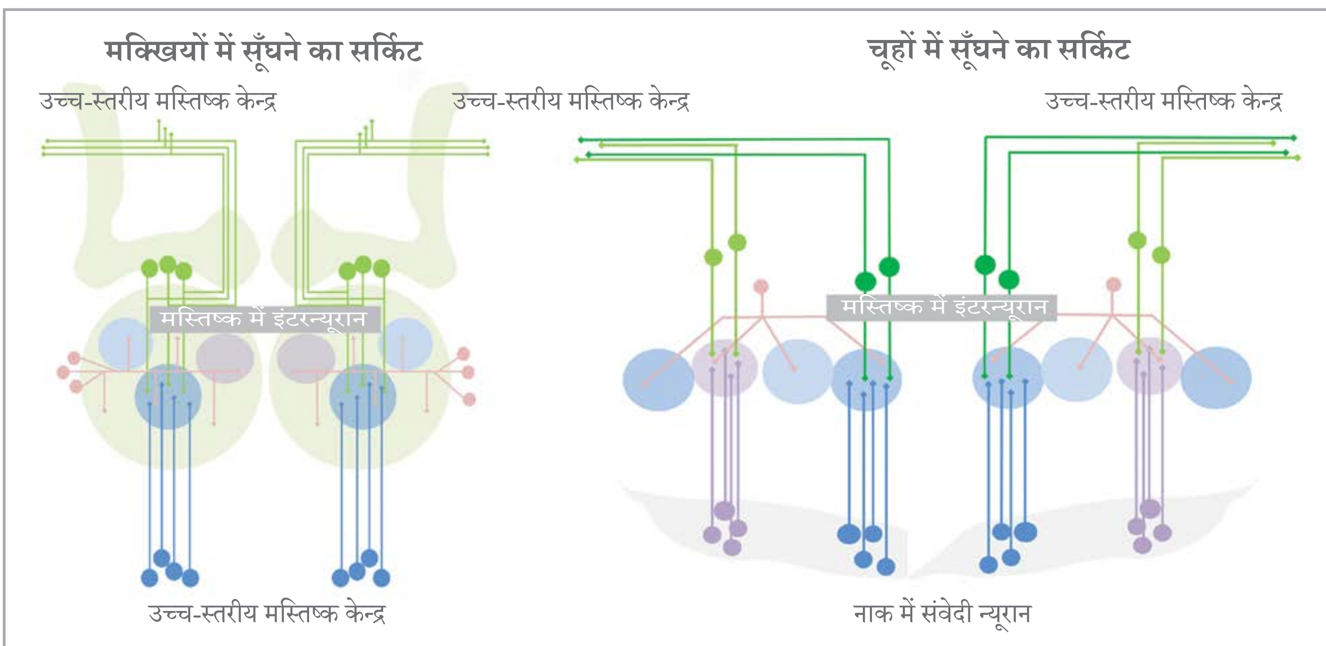


चित्र 3 : स्टैम कोशाणुओं के छोटे-से संग्रह से अनेक विविध प्रकार के न्यूरान पैदा होते हैं - मस्तिष्क के स्टैम कोशाणुओं में से प्रत्येक में वंशाणुओं (जीन्स) का अनोखा संयोजन कार्यरत होता है, और यह उनमें से प्रत्येक को अनोखा बना देता है, जैसा कि पहचान के कूटसंकेत (कोड) में होता है। ऊपर के रेखाचित्र में इसे अलग-अलग रंगों के न्यूरोब्लास्टों के द्वारा निरूपित किया गया है। चूँकि प्रत्येक न्यूरोब्लास्ट भिन्न होता है, इसलिए उनमें से प्रत्येक न्यूरानों का एक अनोखा समूह पैदा कर सकता है। पहचान के इस कोड के अतिरिक्त, एक न्यूरोब्लास्ट के जीवन में वंशाणुओं का एक अन्य समूह भी एक बहुत ही सटीक क्रम में कार्यरत होता है। यह क्रम एक न्यूरोब्लास्ट को 'समय का हिसाब' रखने की सुविधा देता है, जिसका उपयोग वह अलग-अलग समय पर अलग-अलग प्रकार के न्यूरानों को पैदा करने के लिए करता है। इस चित्र में, आप देख सकते हैं कि प्रत्येक विभाजन के साथ, अलग-अलग प्रकार के न्यूरान निर्मित किए जाते हैं। इन 'पहचान के वंशाणुओं' की 'समय के वंशाणुओं' के साथ होने वाली अन्तर्क्रियाओं के फलस्वरूप ही कुछ सौ न्यूरोब्लास्टों को अनेक हजारों में विभिन्न प्रकार के न्यूरानों को उत्पन्न करने की सुविधा मिल जाती है।



चित्र 4 : मस्तिष्क कार्यकारी खण्डों से मिलकर बना होता है। प्रत्येक न्यूरोब्लास्ट (बड़े कोशाणु) ऐसे न्यूरानों (छोटे कोशाणुओं) की एक शृंखला को निर्मित करता है जो आरम्भ में इकट्ठे रहते हैं। फिर वे सभी एक ही कार्यकारी सर्किट में जुड़ जाते हैं। उदाहरण के लिए, एलएएलवी 1 न्यूरोब्लास्ट के द्वारा बनाए गए सभी न्यूरान उस सर्किट में जुड़ जाते हैं जो मक्खी के उड़ने के दौरान दृश्यात्मक जानकारी को संसाधित करने के लिए होता है, वहीं एलैड 1 न्यूरोब्लास्ट के द्वारा उत्पादित सभी न्यूरान सूँघने के सर्किट में जुड़ जाते हैं।

ज्यादा कठिन होता है। लेकिन फिर भी, जैसे-जैसे चींटियों, मधुमक्खियों, मछलियों, चूहों और यहाँ तक कि मनुष्यों के बारे में भी, थोड़ी-थोड़ी जानकारियाँ मिल रही हैं, वैसे-वैसे यह अधिकाधिक रूप से स्पष्ट होता जा रहा है कि सभी मामलों में सामान्य सिद्धान्त समान रहते हैं, अर्थात तंत्रिका तंत्र के निर्माण में, न्यूरल स्टैम कोशाणु विविध प्रकार के न्यूरानों को पैदा करने के लिए आणविक कोड्स तथा आणविक घड़ी का इस्तेमाल करते हैं और इसकी सम्भावना भी है कि वे ऐसा कार्यकारी



चित्र 5 : अलग-अलग जानवरों के सर्किटों में भी मिलते-जुलते वायरिंग रेखाचित्र होते हैं । अलग-अलग जानवरों के अनेक कार्यकारी सर्किटों में भी एक जैसी ही संयोजकता (कनेक्टिविटी) होती है । उदाहरण के लिए, ऊपर के रेखाचित्रों में तुलना करें कि मक्खी तथा चूहे, दोनों में किस तरह से संवेदी न्यूरान मस्तिष्क के उच्च-स्तरीय केन्द्रों को जानकारी सम्प्रेषित करने के लिए इंटरन्यूरानों से जुड़े रहते हैं । आप गौर करेंगे कि दोनों में संयोजकता बहुत एक जैसी है । (adapted from [10])

खण्डों में करते हैं। वास्तव में, अनेक मामलों में इस सब को क्रियान्वित करने के लिए इस्तेमाल किए जाने वाले वंशाणु भी समान रहते हैं! इससे भी ज्यादा चकित करने की बात यह है कि वे न्यूरान जिन उप-परिपथों को निर्मित करते हैं उनके परिपथ को दर्शाने वाले रेखाचित्र भी उल्लेखनीय रूप से एक जैसे दिखते हैं (**चित्र 5** देखें)! इसलिए यह वाकई में सच है कि फलों की मक्खी जैसी मामूली प्रजाति के साथ किए गए प्रयोगों के माध्यम से प्राप्त हुई अन्तर्दृष्टियाँ, व्यापक दृष्टिकोण से तंत्रिका तंत्र को समझने के लिए भी बहुत जानकारी प्रदान करने वाली और उपयोगी होती हैं।

निष्कर्ष

पिछले कई वर्षों से, जानवरों के व्यवहार ने लोगों की जिज्ञासा को उकसाया है और उन्होंने विभिन्न प्राणियों तथा उनके व्यवहारों का अध्ययन करने के लिए विविध प्रकार की तकनीकों का उपयोग किया है। इन जानवरों और तकनीकों में से प्रत्येक ने हमें यह समझने में मदद की है कि जानवर किस प्रकार अपने परिवेश के साथ अन्तर्क्रियाएँ करते हैं। स्क्विड्स के बड़े आकार वाले न्यूरान उनमें विद्युतीय सलाइयों को डालने के लिए बिलकुल उपयुक्त होते हैं, और फलों की मक्खियों में उपलब्ध शानदार जेनेटिक उपकरण हमें यह समझने की सुविधा देते हैं कि वे किस तरह प्रक्रिया को नियंत्रित करते हैं, और चूहे उत्तम प्रतिरूप होते हैं क्योंकि उनकी मनुष्यों से 'निकटता' होती है, जो कि रोगों को समझने के लिए विशेष रूप से महत्त्वपूर्ण होती है। फिर भी, अभी तक जो सब कुछ हम जान पाए हैं, वह उस सब की तुलना में बहुत कम है जो हम अभी भी जानते और समझते नहीं हैं। लेकिन इस मार्ग पर बढ़ते हुए हमने ऐसी क्रान्तिकारी प्रौद्योगिक तकनीकें विकसित की हैं जो हमें ज्ञान की सीमाओं को आगे बढ़ाने की तथा मस्तिष्क और तंत्रिका तंत्र के बारे में अनेक नई रोमांचक खोजों को हासिल करने की सुविधा देती हैं।

Resources

1. General overview of the nervous system and neuronal signalling: http://www.nobelprize.org/educational/medicine/nerve_signaling/game/nerve_signaling.html#/plot1
2. How to manipulate neurons with light: https://www.youtube.com/watch?v=I64X7vHSHOE
3. Watch hundreds of neurons fire spontaneously in the brain of a zebrafish[11]: https://www.youtube.com/watch?v=T2H6UdQVEFY
4. Watch thousands of neurons, in the young zebrafish brain, fire in response to different visual stimuli[12]: http://www.wired.com/2014/07/neuron-zebrafish-movie

References

1. Hodgkin, A. L. & Huxley, A. F. A quantitative description of membrane current and its application to conduction and excitation in nerve. *J. Physiol.* **117**, 500–544 (1952).
2. White, J. G., Southgate, E., Thomson, J. N. & Brenner, S. The Structure of the Nervous System of the Nematode Caenorhabditis elegans. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.* **314**, 1–340 (1986).
3. Cardona, A. *et al*. An Integrated Micro- and Macroarchitectural Analysis of the Drosophila Brain by Computer-Assisted Serial Section Electron Microscopy. *PLoS Biol* **8**, e1000502 (2010).
4. Marx, V. Neurobiology: Brain mapping in high resolution. *Nature* **503**, 147–152 (2013).
5. Friesen, W. O. & Kristan, W. B. Leech locomotion: Swimming, crawling, and decisions. *Curr. Opin. Neurobiol.* **17**, 704–711 (2007).
6. Kazama, H. Systems neuroscience in Drosophila: Conceptual and technical advantages. *Neuroscience* **296**, 3–14 (2015).
7. Deisseroth, K. Optogenetics: 10 years of microbial opsins in neuroscience. *Nat. Neurosci.* **18**, 1213–1225 (2015).
8. Lin, S. & Lee, T. Generating neuronal diversity in the Drosophila central nervous system. *Dev. Dyn. Off. Publ. Am. Assoc. Anat.* **241**, 57–68 (2012).
9. Sen, S. *et al*. Genetic transformation of structural and functional circuitry rewires the Drosophila brain. *eLife* e04407 (2014). doi:10.7554/eLife.04407
10. Sen, S., Reichert, H. & VijayRaghavan, K. Conserved roles of ems/Emx and otd/Otx genes in olfactory and visual system development in Drosophila and mouse. *Open Biol.* **3**, 120177 (2013).
11. Muto, A., Ohkura, M., Abe, G., Nakai, J. & Kawakami, K. Real-Time Visualization of Neuronal Activity during Perception. *Curr. Biol.* **23**, 307–311 (2013).
12. Vladimirov, N. *et al*. Light-sheet functional imaging in fictively behaving zebrafish. *Nat. Methods* **11**, 883–884 (2014).



सोनिया सेन एक जीववैज्ञानिक हैं। उनकी इस बारे में गहरी दिलचस्पी है कि किस तरह वंशाणु और डी.एन.ए जटिल मस्तिष्कों के न्यूरल सर्किटों के निर्माण को निर्देशित करते हैं और जटिल मस्तिष्क कैसे विकसित हुए हैं। वे एक पोस्टडाक्टोरल फैलो हैं और इन सवालों के उत्तर फलों की मक्खियों और समुद्री कीड़ों में तलाश रही हैं। उनसे soniasen@gmail.com पर सम्पर्क किया जा सकता है। **अनुवाद :** भरत त्रिपाठी